

令和元年6月17日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04256

研究課題名(和文) 硬質炭素膜の超高速成膜と超低摩擦の両立に向けた学術基盤の構築

研究課題名(英文) Building an academic foundation for balancing ultra-high-speed deposition and ultra-low friction of hard carbon-based coatings

研究代表者

上坂 裕之 (Kousaka, Hiroyuki)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：90362318

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：100  $\mu\text{m}/\text{h}$ 以上の超高速で成膜されたa-C:H:Si膜と鋼球との大気開放無潤滑下(室温下, 相対湿度10-50%)での摩擦特性を明らかにした。その結果、超高速成膜されたa-C:H:Si膜のなじみ後の摩擦係数は0.05-0.12程度で湿度とともに上昇した。比較対象としてのa-C:H膜のなじみ後の摩擦係数は0.2-0.5程度で同じく湿度とともに上昇した。全湿度範囲でa-C:H:Siの摩擦係数の方がa-C:Hよりも低く、湿度への依存性も小さかった。低摩擦発現に及ぼす膜の初期構造の影響やしゅう同時に形成される界面構造を詳細な表面分析(ラマン, XPS, RBS-ERDAなど)により明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

100  $\mu\text{m}/\text{h}$ 以上の超高速で成膜されたa-C:H:Si膜が、従来の方法で合成されたa-C:H:Si膜と同様に低摩擦を発現することがはじめて確認された。100  $\mu\text{m}/\text{h}$ 以上の超高速成膜を必要とする新しい小ロットDLC成膜技術の確立に向けて、重要な基盤的成果となった。また、その低摩擦発現機構を解明する過程で、a-C:H:Si膜の大気開放無潤滑下での低摩擦発現に関する新しい学術的知見が得られた。それらは、炭素系硬質膜の低摩擦発現に関する体系的な知識の一部をなすものであり、炭素系硬質膜を利用した摺動要素の設計に生かされる。

研究成果の概要(英文)：Friction behavior of the sliding between steel ball and a-C:H:Si films, which were deposited at ultra-high-speed larger than 100 micrometer/h, was clarified. Friction tests were conducted in ambient air with relative humidities from 10 to 50%. Friction coefficient of the a-C:H:Si films after running-in showed 0.05 to 0.12, which increased with increasing RH. For comparison, an a-C:H film was deposited with DC plasma CVD, and its friction coefficient after running-in showed 0.2 to 0.5, which also increased with increasing RH. In all the humidity range employed, friction of the a-C:H:Si was less than that of the a-C:H; in addition, dependence of friction coefficient on humidity of the a-C:H:Si was smaller than that of the a-C:H. It should be noted that the influence of as-deposit film structure on the expression of low-friction and the structure of sliding interface were also clarified by detailed surface analysis using XPS, RBS-ERDA, and Raman spectroscopy.

研究分野：トライボロジー

キーワード：超高速成膜 シリコン含有ダイヤモンドライクカーボン 低摩擦 トライボロジー プラズマCVD スパ  
 ッタリング プラズマシミュレーション 表面分析

様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンドライクカーボン (DLC; Diamond-Like Carbon) は、低摩擦、耐摩耗、化学的安定性などの優れた特性により、特に摩擦エネルギー損失を低減する材料としての応用が拡大している。しかしながら一般に製造コストが高く、より広範なしゅう動部位への DLC の展開を阻んできた。そこで自動車産業などでは製造コスト低減による DLC の適用拡大に向けて、従来の高価な大型装置による低速 ( $\sim 1 \mu\text{m/h}$ )・大量 (100-1000 個) のバッチ処理を脱して、小型装置による超高速 (最低  $100 \mu\text{m/h}$  以上)・1 個～少量流し・インライン成膜 (図 1) に移行することへの期待が高まっている。すなわち DLC 成膜プロセスのジャストインタイム化が求められている。そこで我々は、独自のマイクロ波励起・高密度 (電子密度  $\sim 10^{12} \text{cm}^{-3}$ )・基材近接プラズマ<sup>①-③</sup>を用いた超高速プラズマ CVD 装置によって  $156 \mu\text{m/h}$  (膜硬度 20 GPa) の超高速 DLC 成膜 (図 1) を実証した。これにより従来の低密度プラズマ (電子密度  $10^9\text{-}10^{10} \text{cm}^{-3}$ ) による低速成膜から、超高速・一個流し成膜へ移行しうる可能性を示した<sup>④-⑥</sup>。

超高速成膜された Si 含有 DLC 膜の摩擦特性は従来と同程度であった。しかしながら昨今さらなる省エネルギーへの期待の高まりから水素フリー-DLC 膜の超低摩擦現象などに注目が集まっており、0.01 程度を下回る摩擦係数が安定的に発現することが望ましい。そこで我々は、未来社会が求める硬質炭素膜の超高速成膜技術と超低摩擦発現の両立に向けて、超高速成膜される DLC により超低摩擦を発現させることを目指すこととした。

### 2. 研究の目的

ダイヤモンドライクカーボンは、低摩擦、耐摩耗、化学的安定性などの優れた特性を持つ。しかしながら、より広範なしゅう動部品に展開されるためには、従来の大型容器による低速 ( $\sim 1 \mu\text{m/h}$ )・大量処理 (100-1000 個)・バッチ成膜を脱して、小型容器による超高速・1 個流し・インライン成膜 (=ジャストインタイム生産) に移行するのが望ましい。我々はマイクロ波励起・高密度・基材近接プラズマを用いて Si 含有 DLC 膜 (硬度 20 GPa) の超高速成膜 ( $156 \mu\text{m/h}$ ) を実証し、1 個流しの実現可能性を示した。しかしながら、超高速で成膜された DLC 膜が、所望の摩擦摩耗特性を得るに至っていない。そこで本研究では超高速成膜される DLC 膜において、超低摩擦 (摩擦係数 0.01 以下) を発現することを目指して、膜堆積機構の解明、所望の膜構造や摩擦特性を得るための成膜指針の確立、超低摩擦発現時の摩擦機構の解明を行う。

### 3. 研究の方法

我々のこれまでの事前研究において、様々な成膜条件で超高速成膜された Si 含有 DLC 膜の無潤滑下での摩擦特性を調べたところ、多くの場合、従来報告されてきた摩擦係数 0.05-0.1 程度の低摩擦を示した。これらの摩擦係数を Si 含有量に対してプロットすると Si 含有量が、10 wt% 程度を超えると、おおむね 0.05-0.1 程度の低摩擦係数になるという傾向がみられ、これは森らによる既報<sup>⑦</sup>と同様であった。しかしながら一部にこの傾向から外れて、超低摩擦に近づく膜が見られた。このような Si 含有 DLC 膜と従来レベルの低摩擦になる Si 含有 DLC 膜との物性や構造の違いを分析により明らかにして、超高速成膜される Si 含有 DLC 膜のさらなる低摩擦化を目指す。ただし従来、Si 含有 DLC 膜の湿度依存性については系統的に調べられていない。湿度環境は一般的に低摩擦の発現に大きく影響するとされている。そこで湿度の制御・適正化によるさらなる低摩擦化の可能性を併せて検討する。

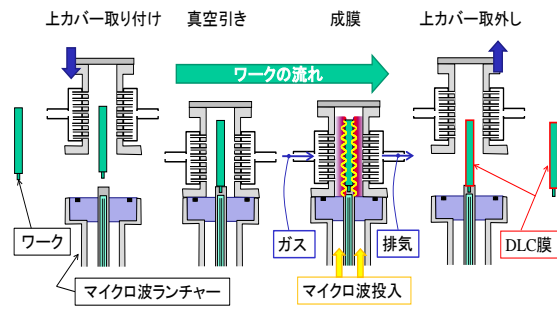


図1 マイクロ波励起・高密度・基材近接プラズマによる超高速・一個流し成膜の模式図。

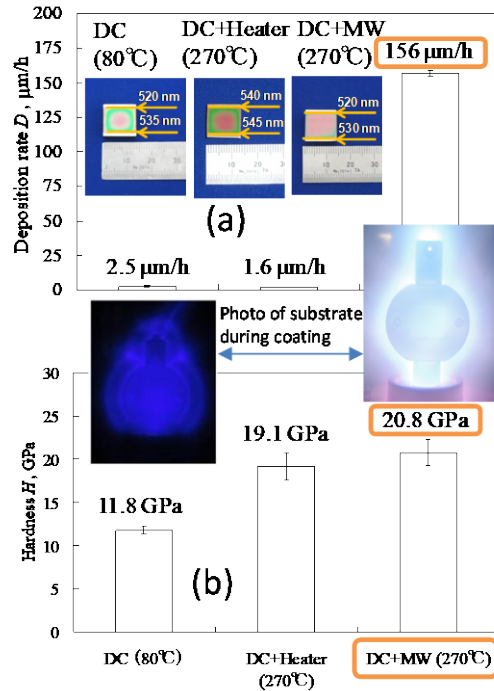


図2 超高速 DLC 成膜結果の実例<sup>⑤,⑥</sup>。

#### 4. 研究成果

Si-DLC の成膜は表 1 の条件で行った。MVP 法によるプラズマ CVD 時に Duty 比を 10, 30, 50%と変化させて 3 種の異なる膜構造の Si-DLC (a-C:H:Si) を作成した。比較のために DC プラズマ法によるプラズマ CVD によって水素含有 DLC 膜 (a-C:H) を作成した。

これらの 4 種の膜に対してピンオンディスク型摩擦試験機を用いて、図 3 中の試験条件下での摩擦試験を行った。4 種の DLC 膜と SUJ2

球に対する無潤滑下での摩擦試験を行った。湿度環境は、10%未満、15%、30%、50%に制御した。湿度条件となじみ後の摩擦係数の関係を考察するため、図 3 のプロットを作成した。この結果から、10-50%の湿度環境下で、水素含有 DLC 膜 (a-C:H 膜) のなじみ後の摩擦係数が Si-DLC 膜のなじみ後の摩擦係数よりも大きくなることが明らかである。図 4 に摩擦試験後の球および膜のしゅう動痕の光学顕微鏡観察像を示す。本データから、しゅう動痕の形態に特に大きさ差を見出せなかった。そこで特に球上の移着物に摩擦係数の差につながる差異を見出せないかと考えて、摩擦試験後の球上しゅう動痕における移着物の構造分析を行った。具体的にはラマン分光および XPS 分析を移着物にフォーカスして行った。図 5 に摩擦試験後の球上しゅう動痕上の移着物から得られたラマンスペクトルを示す。(左から、Duty10%で成膜された Si-DLC 膜、Duty50%で成膜された Si-DLC 膜、水素含有 DLC 膜 (a-C:H) に対する結果)。本図から以下のことが明らかに読み取れる。

- 1) Si-DLC 膜ではすべてのスペクトルカーブが右肩上がりとなり何らかの物質からの蛍光発光が検出されていると考えられる。
- 2) Si-DLC 膜のうち、比較的低摩擦となった 3 条件(Duty10%で成膜された Si-DLC 膜の湿度 10, 15%での結果, Duty50%で成膜された Si-DLC 膜の湿度 10%での結果)においては計測スペクトルカーブ上に、アモルファスカーボンのピーク (1300-1600  $\text{cm}^{-1}$ ) が認められた。

このような結果を踏まえて、全湿度条件下で、水素含有 DLC 膜 (a-C:H 膜) のなじみ後の摩擦係数が Si-DLC 膜のなじみ後の摩擦係数よりも大きくなった主要因がしゅう動界面における上記 1 の蛍光物質の介在の有無によること、同蛍光物質と共に同定されるアモルファスカーボン状の物質の介在が、Si-DLC 膜の摩擦係数をさらに低減させるものと考察している。表 3 に示すように、Si-DLC 膜由来の元素組成上の特徴は、水素含有 DLC 膜のそれと比較してみれば、Si と O がともに多量に集積していることである。従って図 5 の蛍光スペクトルは Si と O を主成分とする物質ではないかと推察される。

表 1 成膜条件

| Method                |                               | MVP                           |     |     | DC              |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----|-----|-----------------|
| Source gas            |                               | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> |     |     | CH <sub>4</sub> |
| Gas flow rate, SCCM   | Ar                            | 40                            |     |     | 40              |
|                       | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 200                           |     |     | 12              |
|                       | TMS                           | 20                            | 35  | 45  |                 |
| Pressure, Pa          |                               | 75                            |     |     | 40              |
| Deposition time, sec. |                               | 15                            | 15  | 15  | 2h30min         |
| Microwave (2.45 GHz)  | Peak power, kW                | 1.0                           |     |     | -               |
|                       | Pulse frequency, Hz           | 1000                          |     |     | -               |
|                       | Duty ratio, %                 | 10                            | 30  | 50  | -               |
| Substrate Bias        | Voltage, V                    | -500                          |     |     | -600            |
|                       | Pulse frequency, Hz           | 1000                          |     |     | 1000            |
|                       | Duty ratio, %                 | 10                            | 30  | 50  | 50              |
| Substrate temp.       | °C                            | 175                           | 312 | 397 | <85             |

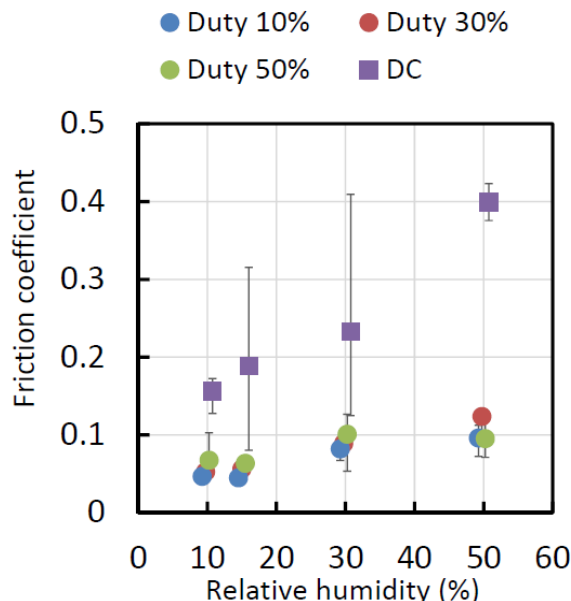
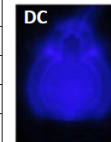
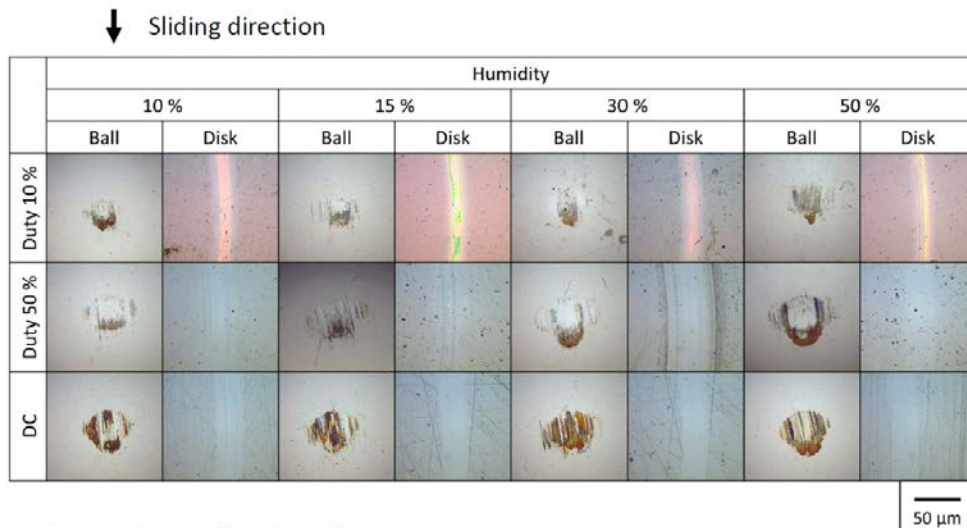


図3 摩擦試験結果のまとめ(摩擦係数と環境湿度の関係)。「Duty10, 30, 50%」は MVP 法を用いたプラズマ CVD により、それらの Duty 比で超高速成膜された Si-DLC 膜に対する結果を示す。「DC」は、DC プラズマ法を用いたプラズマ CVD により成膜された水素含有 DLC 膜 (a-C:H) に対する結果を示す。



Duty 10, 50 %; a-C:H:Si  
DC; a-C:H

図4 摩擦試験後の球および膜のしゅう動痕の光学顕微鏡観察像。「Duty10%, 50%」は MVP 法を用いたプラズマ CVD により、それらの Duty 比で超高速成膜された Si-DLC 膜に対する結果を示す。「DC」は DC プラズマ法を用いたプラズマ CVD により成膜された水素含有 DLC 膜(a-C:H)に対する結果を示す。

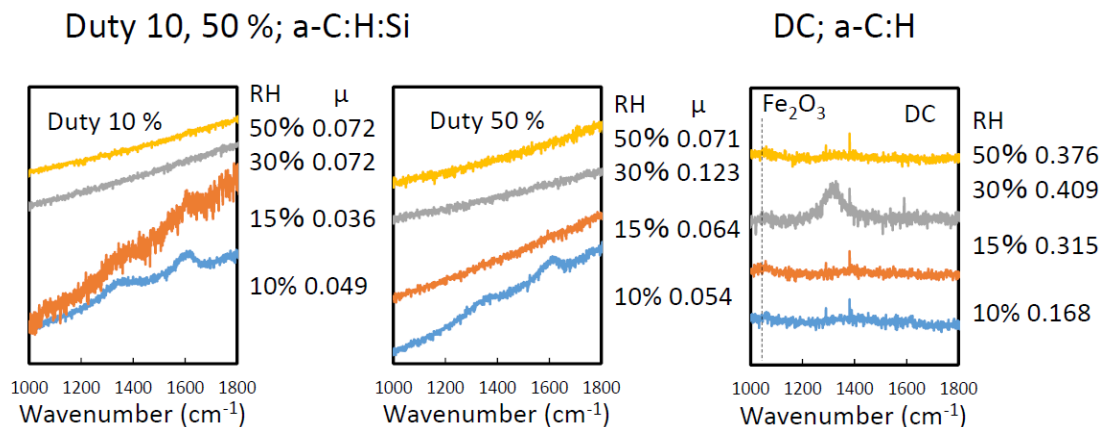


図5 摩擦試験後の球上しゅう動痕における移着物から得られたラマンスペクトル(左から, Duty10%で成膜された Si-DLC 膜, Duty50%で成膜された Si-DLC 膜, 水素含有 DLC 膜(a-C:H)に対する結果)。各図中では 4 つの湿度条件で得られた移着物からのスペクトルを下から, 湿度 10,15,30,50%の順で並べて示す。各スペクトルの横にはその条件での摩擦試験で得られた摩擦係数を併記する。)

表2 摩擦試験後の球上しゅう動痕における移着物から得られた XPS による元素組成分析結果

|    | Duty 10 % |     |     |     | Duty 50 % |     |     |     | DC  |     |     |     |     |
|----|-----------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|    | Humidity  | 10% | 15% | 30% | 50%       | 10% | 15% | 30% | 50% | 10% | 15% | 30% | 50% |
| C  |           | 31  | 34  | 30  | 22        | 27  | 26  | 24  | 19  | 47  | 36  | 34  | 33  |
| O  |           | 50  | 45  | 52  | 55        | 51  | 52  | 53  | 56  | 38  | 47  | 46  | 47  |
| Si |           | 13  | 12  | 13  | 19        | 17  | 12  | 16  | 21  | 3   | 3   | 4   | 3   |
| Fe |           | 6   | 9   | 5   | 4         | 5   | 10  | 7   | 4   | 12  | 14  | 16  | 17  |

<引用文献>

- ① Growth and properties of hydrogen-free DLC films deposited by surface-wave-sustained plasma: J. Xu, H. Fan, H. Kousaka, N. Umehara, D. Diao, W. Li, Diamond and Related Materials, Vol. 16, No. 1, pp. 161-166 (2007). (論文/査読有)
- ② Pressure dependence of surface wave-excited plasma column sustained along metal rod antenna: H. Kousaka, J. Xu, N. Umehara, Vacuum, Vol. 80, No. 11-12, pp. 1154-1160 (2006). (論文/査読有)
- ③ Microwave-excited high-density plasma column sustained along metal rod at negative voltage: H. Kousaka, N. Umehara, K. Ono, and J. Xu, Japanese Journal of Applied Physics Part2, Vol.

- 44, L1154-L1157 (2005).
- ④ X. Deng, Y. Takaoka, H. Kousaka, N. Umehara, Axial uniformity of diamond-like carbon film deposited on metal rod by using microwave-sheath voltage combination plasma: *Surface & Coatings Technology*, Vol. 238, pp. 80-86 (2014).
  - ⑤ Ultra-high-speed Coating of Si-containing a-C:H Film at over 100  $\mu\text{m/h}$ : H. Kousaka, Y. Takaoka, N. Umehara, *Procedia Engineering*, Vol. 68, pp. 544-549 (2013).
  - ⑥ Ultra-high-speed coating of DLC at over 100  $\mu\text{m/h}$  by using microwave-excited high-density near plasma: H. Kousaka, T. Okamoto, N. Umehara, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 41, 8, 1830-1836 (2013).
  - ⑦ 森ほか, *表面技術* 50 (6), pp. 401-407, 2008.
  - ⑧ N. Terayama; *Journal of Plasma and Fusion Research*, 87, 548 (2011) .

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 12 件)

- 1) Iga Kazunori, Oda Akinori, Kousaka Hiroyuki, Ohta Takayuki: Formation of diamond-like carbon film using high-power impulse magnetron sputtering, *Thin Solid Films*, 672, pp.104-108 (2019). (査読有)
- 2) 上坂 裕之, 中田 博道, 篠田 健太: 硬質トライボ材料向け成膜技術の最新動向, *月刊トライボロジー*, 377, pp.18-21 (2019). (査読無)
- 3) Tanaka Ippei, Ikeda Tomoya, Nakano Toshimitsu, Kousaka Hiroyuki, Furuki Tatsuya: Effect of humidity on the friction properties of a-C:H and a-C:H:Si films deposited by PECVD employing microwave sheath-voltage combination plasma, *Japanese Journal of Applied Physics*, 58, SAAC06 (2018). (査読有)
- 4) 上坂 裕之: MVP法による超高速成膜・表面加工技術と細穴内面プラズマ成膜への展開 (特集 プラズマ技術), *自動車技術*, 72(6), pp.68-73 (2018). (査読無)
- 5) 上坂 裕之: 機能性炭素系コーティングのトライボロジーの研究動向, *トライボロジスト*, 63, pp.3-10 (2018). (査読有)
- 6) 中野 敏光, 上坂 裕之, 田中 一平, 柴沢 穂高, 北爪 一考, 橋富 弘幸: Microwave sheath-voltage combination plasma法により高速成膜されたa-C:H:Si膜の摩擦摩耗特性, *表面技術*, 69, pp.29-33 (2018). (査読有)
- 7) 高松 玄, 田中 一平, 上坂 裕之, 古木 辰也: DLC膜欠損部の修復のための再堆積技術の開発および修復効果の評価, *材料試験技術*, 63, pp.28-33 (2018). (査読有)
- 8) 上坂 裕之, 梅原 徳次: プラズマ・イオンプロセスによる薄膜の製造とトライボロジー, *精密工学会誌*, 3, pp.319-324 (2017). (査読無)
- 9) Hattori Katsuhiko, Ohta Takayuki, Oda Akinori, Kousaka Hiroyuki: Noncontact measurement of substrate temperature by optical low-coherence interferometry in high-power pulsed magnetron sputtering, *Japanese Journal of Applied Physics*, 57, 01AC03 (2017). (査読有)
- 10) Tanaka Ippei, Nakano Toshimitsu, Kousaka Hiroyuki, Hashitomi Hiroyuki: Tribological behavior of unlubricated sliding between a steel ball and Si-DLC deposited by ultra-high-speed coating employing an MVP method: *Surface and Coatings Technology*, 332, pp.128-134 (2017). (査読有)
- 11) 小森 郷平, 小田 昭紀: 高周波駆動型非平衡大気圧Heプラズマ基礎特性に及ぼす不純物N<sub>2</sub>濃度の影響, *電気学会論文誌A (基礎・材料・共通部門誌)*, 137, pp.570-576 (2017). (査読有)
- 12) S. J. Wu, H. Kousaka, S. Kar, D. J. Li, and J. H. Su: Friction and wear performance of bearing ball sliding against diamond-like carbon coatings, *Material Research Express*, 4, DOI(<https://doi.org/10.1088/2053-1591/aa516b>), 2017. (査読有)

[学会発表] (計 7 7 件)

- 1) 上坂 裕之: 低摩擦・耐摩耗表面のための成膜技術の最新動向, 塑性加工学会東海支部第86回塑性加工懇談会, 2019年. (招待講演)
- 2) Hiroyuki Kousaka: Promotion of running-in process in sliding of diamond-like carbon coatings by using atmospheric plasma irradiation during sliding, 第28回日本MRS年次大会, 2018年. (招待講演)
- 3) 大野 祐也, 永井 雅之, 小田 昭紀, 太田 貴之, 上坂 裕之: Si含有DLC成膜用炭化水素プラズマの診断: プラズマ基礎特性の電力依存性, 電気学会 プラズマ/パルスパワー/放電合同研究会, 2018年.
- 4) 太田 貴之, 三輪 侑生, 伊賀 一憲, 小田 昭紀, 上坂 裕之: 2元スパッタリングを用いて成膜したSi-DLC膜のSi含有量依存性 (C27), トライボロジー会議2018秋, 2018年.
- 5) 三輪 侑生, 小田 昭紀, 上坂 裕之, 太田 貴之: ハイパワーインパルスマグネトロンスパッタリングで成膜したSi-DLC膜の摩擦特性, 第6回応用物理学会学生セッションチャプター(SC)東海地区学術講演会, 2018年.
- 6) 上坂 裕之: 基材包囲型マイクロ波プラズマによる少量・フロー型硬質膜プロセスへの挑戦, プラズマ科学のフロンティア2018研究会 (核融合科学研究所), 2018年. (招待講演)
- 7) 上坂 裕之: 先進DLC成膜技術とDLCを用いた付着抑制に関する基礎的検討, 接着界面科学研究会 PartIV 第一回例会, 2018年. (招待講演)
- 8) R. Ota, H. Kousaka, L.L. Raja, N. Umehara, M. Murashima, T. Tokoroyama: Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition of Carbon Film into a Small Hole 100  $\mu\text{m}$  in Diameter with MVP and Source Gas Blowing (BP35), 45th Int. Conf. on Metallurgical Coatings and Thin Films (ICMCTF), 2018年. (国際学会)
- 9) Takayuki Ohta, Akinori Oda, Hiroyuki Kousaka: FORMATION OF DIAMOND-LIKE CARBON FILM BY HIGH POWER IMPULSE MAGNETRON SPUTTERING AND PLASMA DIAGNOSTICS, International workshop on plasma synthesis of nanomaterials and its applications for sensor devices, 2018年. (招待講演)

(国際学会)

- 10) 小嶋 正宏, 大木 一真, 小田 昭紀, 太田 貴之, 上坂 裕之: 炭素材料創製用非平衡大気圧炭化水素プラズマの基板入射フラックスに関する数値解析 (21p-PB1-16), 第79回応用物理学会秋季学術講演会, 2018年.
- 11) 永井 雅之, 大野 祐也, 小田 昭紀, 太田 貴之, 上坂 裕之: Si含有DLC成膜用TMSプラズマの診断 - プラズマ基礎特性のガス圧力依存性-, 平成30年 電気学会全国大会, 2018年.
- 12) 永井 雅之, 大野 祐也, 上坂 裕之, 太田 貴之, 小田 昭紀: Si含有DLC成膜用テトラメチルシランプラズマの計測 (13B-03), 表面技術協会 138回講演大会, 2018年.
- 13) Toshimitsu Nakano, Kentaro Yamaguchi, Ippei Tanaka, Hiroyuki Kousaka, and Hiroyuki Hashitomi: Tribological behavior of unlubricated sliding between steel ball and Si-DLC deposited by ultra-high-speed coating employing MVP method, The 44th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films (ICMCTF2017), 2017年. (国際学会)
- 14) Takayuki Ohta, Atsushi Ishikawa, Akinori Oda and Hiroyuki Kousaka: Deposition of diamond-like carbon film using high power impulse magnetron sputtering, The XXXVIII International Conference on Phenomena in Ionized Gases (ICPIG2017), 2017年. (国際会議)
- 15) 上坂 裕之: 高密度近接プラズマ技術とガス吹付による超高速・スポット DLC 成膜, 2017年真空・表面科学合同講演会 (招待講演), 2017年. (招待講演)
- 16) 大野 祐也, 小田 昭紀: DLC成膜用Ar/CH4プラズマの診断-プラズマ基礎特性のガス流量依存性-, 平成29年電気学会 基礎・材料・共通部門大会 (A部門大会), 2017年.
- 17) Hiroyuki Kousaka: Microwave-assisted ultra-high-speed coating of DLC for 1-by-1 coating, Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2017), 2017年. (招待講演) (国際学会)
- 18) YUKI MIWA, TAKAYUKI OHTA, AKINORI ODA, HIROYUKI KOUSAKA: Friction property of Si-doped DLC film deposited by using dual magnetron sputtering, 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-10), 2017. (国際学会)
- 19) Hiroyuki Kousaka: Microwave-assisted Ultra-High-Speed Plasma CVD and its application to Advanced DLC Coating System, 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-10), 2017年. (招待講演) (国際学会)
- 20) Akinori Oda, Kazuma Ohki, Satoru Kawaguchi, Kohki Satoh, Hiroyuki Kousaka and Takayuki Ohta: Axially-symmetric Three-Dimensional Fluid Modelling of Capacitively-Coupled Radio-Frequency TetraMethylSilane Plasmas for Silicon-containing Diamond-Like Carbon Thin-Films Deposition, 15th International Conference on Plasma Surface Engineering, 2016年. (国際学会)
- 21) 上坂 裕之: Microwave-assisted ultra-high-speed plasma CVD for DLC coating and tribological properties of Si containing a-C-H films deposited, 日本トライボロジー学会・サステイナブルトライボロジー会議 2016, 2016年. (招待講演)
- 22) 上坂 裕之: 低摩擦・高耐摩耗DLC膜のプラズマ成膜技術, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 2017年. (招待講演)
- 23) 石川 敦士, 太田 貴之, 小田 昭紀, 上坂 裕之: ハイパワーインパルスマグネトロンスパッタリングを用いたダイヤモンドライクカーボン膜の形成, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 2017年.

ほか53件

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他] ホームページ等  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 小田 昭紀  
ローマ字氏名: **Akinori Oda**  
所属研究機関名: 千葉工業大学  
部局名: 電気電子工学科  
職名: 教授  
研究者番号 (8桁): 70335090

研究分担者氏名: 太田 貴之  
ローマ字氏名: **Takayuki Ohta**  
所属研究機関名: 名城大学  
部局名: 電気電子工学科  
職名: 准教授 (採択時)  
研究者番号 (8桁): 10379012

(2) 研究協力者  
なし